

文章编号: 0253-9985(2009)06-0673-11

“油气成藏模式”的概念、研究现状和发展趋势

吴冲龙^{1,2}, 林忠民¹, 毛小平³, 王连进⁴

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074 2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074

3. 中国地质大学, 北京 100083 4. 燕山大学, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 通过对国内外油气成藏模式典型实例的剖析, 对同类实例的共性进行了概括和简化, 将油气成藏模式归纳为 5 大类, 进而提出了油气成藏模式的新定义。研究认为, 油气成藏模式分析的要素包括油气藏形成的基础条件、动力介质、形成机制和演化历程等, 成藏模式应是基于全部要素的复合分析, 但各类成藏模式的建立方法和适用范围应与不同的勘探程度和研究程度相适应。在实际工作中, 可根据资料的情况, 以 4 种要素中的一种或多种为主线, 兼顾其他要素, 来分别建立盆地级、拗陷级、凹陷级或圈闭级的成藏模式。

关键词: 基础地质条件; 成藏动力和介质; 成藏机制; 演化历程; 复合控制因素; 油气成藏模式

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

Concept, research status and trend of “hydrocarbon pooling patterns”

Wu Chonglong², Lin Zhongmin¹, Mao Xiaoping³, Wang Lianjin⁴

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Wuhan, Hubei 430074, China

3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China 4. Yanshan University, Qinghuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Based on analyses of the case studies of typical hydrocarbon pooling patterns, five types of hydrocarbon pooling patterns are identified and a new definition for the hydrocarbon pooling pattern is put forward in this paper. According to the study, the elements of hydrocarbon pooling include basic geologic conditions, drive force and medium mechanism, and process of reservoir evolution, et al. Comprehensive analysis of hydrocarbon pooling patterns should be based on all these elements. Moreover, the method for establishment of each pooling pattern and its range of application should be in accordance with the levels of exploration and research. In practice, one or more of these four elements can be selected as the primary elements with the others as secondary ones to establish the hydrocarbon pooling patterns at basin depression, sag and trap levels respectively.

Key words: basic geological condition; drive force and medium; hydrocarbon pooling pattern; process of evolution; complex control element; hydrocarbon pooling pattern

“油气成藏模式”是近年来国内石油天然气地质学领域的研究热点之一。这个概念见诸文字至今已经有 35 年的历史了, 但由于没有明确的定义和说明。多年来人们依据自己的知识和经验, 从不同的侧面、不同角度去理解它并应用它, 一方面

作为对已知油气藏的形成机理和时空分布进行分析和综合的样板, 另一方面作为进行未知油气藏预测的类比参考。这样做的结果, 一方面丰富和完善了“油气成藏模式”的内涵和外延, 另一方面却带来了一些歧义和争论。文中拟依据手头掌握

收稿日期: 2009-08-14

第一作者简介: 吴冲龙 (1945-), 教授、博士生导师, 能源地质。

基金项目: 国家攻关项目 (2004BA616A-06-01); 国家重大专项 (2008ZX05051-04, 2008ZX05005-002-06)。

的资料对这个概念的提出、发展历程和应用情况做个总结,力求从中发现并归纳出一些值得共同注意和遵循的原则,以便使这个概念进一步发展、完善并用于指导油气勘探。

1 成藏模式概念的提出和发展

油气成藏模式的研究可以追索到 20 世纪初,“海相成油说”和“陆相成油说”可看成这个时期产生的概略性认识。随后出现的背斜圈闭油气差异聚集模式 (Gussoy 1954)^[1],涉及了油气运移聚集机制问题。油气运聚机制研究高潮出现在 20 世纪 70 年代。这个时期的研究大多是分别针对油气排放、运移和聚集机制的,尽管也同时考虑了各种控制因素,提出了一些简单的运聚模式,但还没有形成完整的油气成藏模式概念。例如,油气初次运移方面的连续油相运移模式 (Dickey 1975; Magara 1980)^[1~3]、水溶相运移模式 (Price 1976)^[4]、孔隙中心网络运移模式 (Barker 1978)^[5]、干酪根网络运移模式 (McAuliffe 1979)^[6]、气溶相运移模式 (Negley 1979)^[7]、甲烷微裂隙运移模式 (Hedberg 1980)^[8]、深盆热水垂直运移模式 (Price 1980)^[9]、压实盆地中烃类的溶解—出溶运移模式 (Bonham 1980)^[10]、甲烷—二氧化碳气体容载运移模式 (Barry 1980)^[11] 和气相扩散运移模式 (LeYthaeuse 等, 1982)^[12] 等;在油气二次运移方面的静水条件下的运移模式 (Aschenbrenner 等, 1960)^[13]、动水条件下的运移模式 (Tissot 1975; Berg 1975)^[14~15]、油气运移的渗流力学 (定量) 模式 (England 1987)^[16];热对流循环下天然气运移模式 (Dewers 等, 1988)^[17]、与断裂有关的油气运移模式 (Allan 1989)^[18]、油气幕式涌出异常压力封存箱的运移模式 (Hunt 1990)^[19];在油气聚集方面的渗滤作用聚集模式 (包括在背斜圈闭中、地层圈闭中、岩性圈闭中和断层圈闭中的聚集子模式, Cordell 1977; Roberts 1980)^[20~21]、排替作用模式聚集 (Chapman 1982)^[22] 和压力封存箱聚集模式 (Powley 1990; Tigert 1990)^[23~24]。

上述各种油气运聚模式概念,可以认为是油气成藏模式概念的前身。据了解,是 Gambhir (1976)^[25] 最早提出 “Pattern of accumulation and composition of oils” 的概念。Gambhir 采用这一概念来表达印度 Cambay 盆地 Mehsana 地区的下古

新统透镜状和层状砂岩—粉砂岩油藏的聚集和成藏特点。Gambhir 认为,该地区的岩相和油藏样式主要受到盆地中部的南北向主干同沉积断裂的控制,尽管显示均一性质的轻质和含蜡的透镜状油藏与显示变化性质的重质和含环烷层状油藏有所不同,但却有着共同的来源和成因机理,而与埋藏深度及地质年代没有任何关系,层状油藏中出现的变化是次要因素造成的。当然,这里的 “Pattern” 只含有样式、体制等静态意义,还没有状态、机制等动态意义。一直到 1981 年,Welt 和 Yukler 针对计算机模拟第一次提出了基于地质、地球物理、地球化学、水动力学和热力学数据的盆地三维动力学建模的 “petroleum origin and accumulation model” 完整概念^[26]。随后,Meissner 于 1985 年也通过对 Powder River Basin 白垩系油藏特征及其形成机制研究,提出了区域烃类生成、运移和聚集模式 (regional hydrocarbon generation migration and accumulation Pattern) 的概念^[27],用于描述超压作用、构造、岩相及圈闭与油气生排运聚的关系。不过,从此之后,国外却很少有人专门从事这方面的研究。在国外杂志上所发表的相关论文至今只有 18 篇,年均不足 1 篇,而且有 10 篇是中国学者撰写的。但是,在中国的情况却有很大不同,截止今年 6 月底,国内总共已经发表了 768 篇论文。据了解,第一篇正式提出中文“油气成藏模式”概念的论文,是李一平 (1989) 发表于戴金星等主编的《天然气地质研究论文集》中的“四川盆地碳酸盐岩气藏的成藏模式”^[28],而第一篇在国内杂志上发表的“成藏模式”论文是张仲武等 (1990) 发表于《天然气工业》第 10 卷第 6 期的“四川盆地气藏类型及成藏模式”^[29]。

统计结果表明“成藏模式”概念经过了 30 多年的发展,至 21 世纪初开始在中国逐渐形成研究高潮 (图 1)。从 2000 年开始,公开发表的论文数由每年几篇、十几篇猛增到九十多篇、一百多篇,并且成为博士生和硕士生学位论文,以及国家重点科技攻关项目的重要选题中。成藏模式概念之所以在我国受到广泛的关注,可能与我国含油气盆地具多原型迭加多世代演化特点、油气成藏及保存条件极为复杂等因素有关。目前,油气成藏模式概念的内涵和外延逐步完善,与以前的“油气运聚机制”或“成藏规律”的概念有了显著的差别,对成藏模式的概括也已经成为各油田开展日常勘探目标预测和勘探成果分析的必要环节。当然,

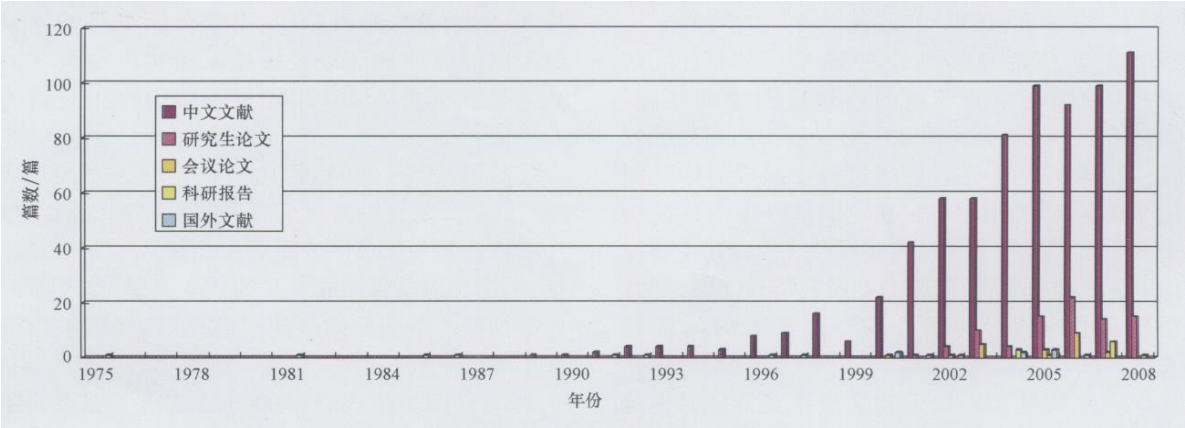


图 1 国内外公开发表的有关油气成藏模式研究论文统计

Fig 1 Statistics on papers about hydrocarbon pooling pattern published at home and abroad

由于人们对油气“成藏模式”概念的理解不同, 分类方案和分类结果也不同, 其中包含许多仅根据对个别油气藏、区带或凹陷分析得出的认识, 难以达成共识。笔者认为, 油气成藏模式应当是指一组同类油气藏的共性抽象和描述, 而非单个油气藏的个性抽象和描述。一般地说, 单个实体的个性抽象和描述只能称为模型。

由于油气成藏模式的概念在国外研究较少, 至今没有统一的英文名。目前在文献中见到的有: Pattern of accumulation of oils petroleum origin and accumulation model hydrocarbon generation migration and accumulation pattern oil and gas accumulation model oil and gas pool formed model oil and gas reservoir forming reservoir formed patterns reservoiring models pool forming patterns pool forming model forming models of the gas reservoirs model of oil accumulation。根据术语“先入为主、约定成熟、简约明确”的原则以及含义的完整性, 文中采用“petroleum origin and accumulation pattern”。

成藏模式兼有描述和预测的作用, 即一方面是提供对已知油气藏的形成机理和时空分布进行分析和综合的样板, 另一方面是作为进行未知油气藏预测的类比参考。已有的各种成藏模式大多只是侧重于某个或某几个方面的特征, 而非上述意义下的一种完整的成藏模式。对于一些特殊的地区或盆地而言, 在不同的勘探阶段侧重于某个或某几个方面的特征是很有必要的。但如果所看到的现象不是反映本质特征的, 依据这些现象下结论, 必然会被误导; 如果所看到的现象是反映本

质特征的, 但若仅仅依据一些局部或零碎的现象就下结论, 也难以避免片面性。因此, 比较妥善的做法应当是系统地占有资料、细致地分析资料, 多角度、全方位、联系地看待问题。对于系统而全面地认识油气成藏规律而言, 成藏模式需要随着勘探工作的进展而不断总结。

2 成藏模式的研究实例

为了便于读者全面、客观地了解油气成藏模式的发展和应用概貌, 我们将尽可能多地列举实例。实例的选择原则是发表时间和模式类型。若发表时间相同即选择模式类型典型而完整者, 若模式类型相同则选择发表时间在前者。文中列举这些模式只是为了客观地剖析和归类, 而没有对其中的认识进行评价。在国内已发表的 700 余篇成藏模式专论文章中, 绝大多数是以基础(地质)条件、排驱动力和输导介质、形成机制、演化历程等 4 组要素之一, 或其中 2 组或 2 组以上要素复合为主要建模依据, 因此可以大致把成藏模式归纳为如下 5 大类型。

2.1 着眼于基础条件的成藏模式

所谓基础条件, 是盆地构造、沉积环境、烃源条件及生储盖组合、成藏组合。这类成藏模式的提出通常针对大区域、大盆地或者是勘探程度较低的区域或盆地(凹陷)。模式的构建主要着眼于盆地构造、沉积环境和圈闭类型, 尤其侧重构造类型、圈闭类型和油气藏赋存状态。

1) 李一平(1989)和张仲武等(1990)建立了四川盆地天然气藏的4种成藏模式:①褶前型——褶皱变动前形成的非构造圈闭油气藏;②古褶型——在叠加褶皱中形成的构造圈闭油气藏;③隆褶型——先隆后褶过程中形成的构造圈闭油气藏;④晚褶型——在晚期褶皱中形成的构造圈闭油气藏^[28-29]。这些成藏模式的构建主要考虑了区域构造条件、圈闭类型及其形成时间,同时顾及了盆地的烃源条件和生储盖的时间配置关系。

2) 杨克明(1991)曾在塔里木盆地针对性地提出了“古生中储”的油气成藏模式^[30]。其主要依据是通过塔里木盆地构造演化、沉积演化和圈闭发育状况的分析,发现塔里木盆地古生界有极丰富的有机物质和巨厚的生油层系,而在中生界发育了很多油气圈闭。

3) 王昌桂等(1993)提出了吐鲁番坳陷天然气成藏模式^[31]——二级背斜带中层(1 500~4 000 m)分布有背斜油气藏、断背斜油气藏、构造—岩性复合油气藏和断层遮挡油气藏,深层(>4 000 m)则分布这4种类型的气藏或以气为主的油气藏,同时在深凹区分布隐蔽油气藏或气藏。该模式是着眼于吐鲁番坳陷的沉积、构造特征,并且着手进行了坳陷内3套主要目的层天然气形成的生、储、盖、圈等基础地质条件和天然气富集规律分析的结果。

4) 宋岩等(1996)建立了4种大中型气田成藏模式^[32]:①早期或同期构造圈闭天然气成藏模式;②晚期构造圈闭天然气成藏模式;③古风化壳天然气成藏模式;④泥底辟异常温压天然气成藏模式。该项研究是面对我国大中型油气田,以盆地构造演化和圈闭类型为纲作出的归纳。

5) 陈波等(1998)提出了以地层圈闭为主线的3种油气成藏模式^[33]:①上倾尖灭式地层圈闭油气成藏模式;②地层超覆式地层圈闭油气成藏模式;③断层遮挡式复合圈闭油气成藏模式。这些模式是根据下辽河盆地的油气成藏基础条件和成藏机制分析建立的。

6) 付广等(2001)提出了4种断裂输导系统控制下的油气成藏模式^[34]:①断裂输导系统直接控制形成的油气成藏模式;②受断层与连通砂体组合输导系统控制形成的油气成藏模式;③断裂与不整合组合输导系统控制形成的油气成藏

模式;④断裂与连通砂体、不整合面组合输导系统控制形成的油气成藏模式。这些成藏模式的建立是以断裂在油气运聚过程中的作用分析为基础的。

7) 彭君等(2003)提出裂陷盆地3类油气成藏模式^[35],则是根据对东濮坳陷现有油气藏的分布特征及其基础条件分析而得出的。这些模式包括:①深层地垒带煤成气藏的古生新储;②复杂断阶带油藏的多期反向断阶成藏;③近洼斜坡带的深层湿气成藏。

8) 阿布力米提等(2004)总结出了淮南前陆盆地的“源上—背斜—断裂和相控”及“近源—断背斜—断控”两种油气成藏模式^[36]。该模式的提出是因为发现该盆地的油气藏具有“近源”、“近断裂”分布及晚期成藏等特点,进而认为油气成藏的主控因素是烃源断裂和储集层。

9) 肖伟等(2006)将油气成藏模式概括为3种以构造类型为主线的成藏条件组合模式^[37]:①单断型成藏条件组合模式;②构造反转型成藏条件组合模式;③双断型成藏条件组合模式。这些模式则是根据二连盆地的构造、圈闭类型及其组合征建立的。

10) 梁宏斌(2006)提出了陆相断陷盆地的3种隐蔽油藏成藏模式^[38]。其中,陡坡带具鼻状构造背景,在最大湖侵之后的扇三角洲前缘分流河道砂上倾尖灭处形成岩性油藏;缓坡带具有简单斜坡构造背景,有坡折带—湖底扇岩性油藏和坡折带—前缘砂岩性油藏两种亚模式;洼槽带的湖底扇砂砾岩体夹于有利烃源岩内,而当洼槽带内部的结构、构造比较复杂时,可能形成砂岩上倾尖灭油藏。这是通过对二连隐蔽油气藏形成的地质条件和油气运聚特征研究而得出的。

11) 祝厚勤等(2006)也提出了断陷盆地岩性油藏的3种成藏模式^[39]:①洼陷带发育典型自生自储自盖的砂岩透镜体油藏;②陡坡带发育砂岩透镜体式的构造—岩性油藏组合;③缓坡带、中央背斜带翼部发育砂岩透镜体式断层—岩性油藏。这些模式也来自于对东营坳陷的成藏基础条件分析。

12) 张以明等(2006)针对冀中坳陷提出了复杂断块油藏的背斜型、斜坡型、断阶型等成藏模式^[40]。该成藏模式基于对油藏构造背景、断层封堵性、成油组合、砂体类型等基础条件的研究。

13) 彭文绪等 (2009) 则根据黄河口凹陷的油气成藏以近源垂向运移为主^[41], 主要成藏时间为 5.1 Ma 以来, 主力油层明显受层序控制, 油层主要分布于最大湖泛面以下的实际情况, 提出了一种与新构造运动、烃源、储盖组合和输导体系相关的“近源晚期优势成藏模式”。

2.2 着眼于动力介质的成藏模式

所谓动力介质, 是指油气排驱和运聚的动力和介质条件。油气排驱和运聚动力主要是流体势, 包括孔隙压力、浮力、构造应力、地下水动力和毛管阻力等; 油气储渗的介质条件包括岩相、岩性、孔渗、通道、储集空间、圈闭的特征及其与生烃期的动态匹配。目前常见的是侧重于油气运移的驱动力、储集空间形成或油气封存温压系统等方面的模式。

1) 陈绥祖等 (1994) 首次建立了基于封存箱理论的四川盆地上三叠统天然气成藏模式^[42]。该模式是基于世界上大多数沉积盆地的油气均与封存箱成藏有关的认识, 以及对四川盆地上三叠统地层压力的平面展布规律和纵向演化特征的研究而得出的。

2) 姜子昂等 (1996) 建立了川南地区隐伏裂缝系统成藏模式^[43]。该模式建立在分析和评价川南区域应力场特征、天然气储量 $\geq 1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的裂缝系统分布规律及缝洞系岩溶基础上, 研究认为水平扭剪应力场通过控制裂缝系统形成和分布, 对油气的成藏起主导作用。

3) 王红军等 (1999) 提出了一种高压流体封存、泄漏、破坏和再生的油气成藏模式^[44]。该模式是一个典型的动力学模式, 可表达为: 古油藏内原油的裂解使压力周期性增高, 导致油藏顶部的压力封隔层在一些薄弱环节处产生压力释放口, 油气向外散失并降低油藏内部的压力, 结果造成了古油藏内部油气的周期性再分配, 从而在压力较低处形成新的油气藏。这一模式的主要依据是发现了塔里木盆地中央隆起带地层压力梯度对油气聚集与分布的控制。

4) 刘震等 (2000) 在准噶尔盆地东部建立了油气在 4 种相对低能的温压系统中的运聚成藏模式^[45]: ①火烧山型单期成藏模式; ②彩南型两期成藏模式; ③沙南型单期成藏模式; ④南部多期复合成藏模式。其着眼点是温压系统在纵向和平面上

的分布特征及其对油气运聚和成藏的控制。

5) 宋岩等 (2002) 建立了 3 种不同的前陆盆地天然气成藏模式^[46]: ①强烈构造活动使超压带内成藏; ②浅部泄压、后期成藏; ③深部压力传递伴随天然气运移和聚集成藏。这些模式是着眼于异常压力对气藏形成的影响, 并以塔北、淮南和川西等前陆盆地为例总结出来的。

6) 周兴熙 (2004) 针对塔里木盆地提出了 5 种成藏模式^[47]: ①以克拉 2 白垩系气田为例的超高压封存箱内对流成藏模式; ②以大北白垩系气田为例的超高压封存箱内渗流成藏模式; ③以大宛齐新近系油田为例的超高压封存箱外涌流成藏模式; ④以牙哈古近系和白垩系凝析油气田为例的常压封存箱内渗流成藏模式; ⑤以牙哈新近系凝析气田为例的常压封存箱外涌流成藏模式。毫无疑问, 这些模式提出是基于压力差异变化是成藏作用的主控因素的认识。

2.3 着眼于形成机制的成藏模式

所谓形成机制, 是指烃类来源、排烃方式、运移方式、运移方向、聚集方式、累积机理、封存过程及成藏动力学。这种成藏模式是建立在较详尽的勘探资料和较深入的成藏机理研究基础上的, 要求研究对象有较高的勘探程度和研究程度。

1) 王允诚等 (1991) 提出了川西坳陷须家河组天然气的成藏模式^[48], 即压实排水、油气生成和运移、油气富集及成藏三段式。该模式基于分析烃演化、孔隙演化、沉积埋藏史、构造变动和岩石封闭能力测定, 可认为是一种以形成机制为主、基础条件和动力介质为辅的成藏模式。

2) 李明诚 (1992) 提出了川西凹陷侏罗系致密红层天然气富集的概念模式^[49]。认为致密层中富集的天然气是在早白垩世末期地层致密以前由水相和气-水两相运移的产物, 其后在地层致密过程中有大量天然气散失, 残留下来的部分则形成现今超压、致密的含气储集体。

3) 邱蕴玉等 (1994) 的“晚期混源、次生聚散、动态平衡”的震旦系气藏成藏模式, 便是借助大量有机地化信息并结合其它动力学研究成果提出来的^[50]。

4) 郝石生等 (1996) 提出的上古生界煤系烃浓度封闭、水溶液解析和动平衡运聚成藏模式^[51], 则是根据鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳大气田

的小岩性气藏集群式似整装特征,以及在奥陶系欠压实封存箱内“自生自储”性质,加以总结得出的。

5) 孙宝珊(1996)的逆反转正断层控油气成藏模式^[52],是以塔里木北部油田轮台断裂的控藏作用为例而提出的。经研究发现,断裂由压性转张性时,断裂输导油气;从张性转为压性时,断裂封堵油气,并导致牵引背斜捕获油气、断裂两盘的上覆沉积层保存油气而成藏。

6) 马力等(1997)把油气成藏模式分为互补的两类^[53]。其中,一类是按烃类来源和运移方式划分的,包括烃源岩直接供烃成藏模式、原油裂解气成藏模式、水溶脱气成藏模式和煤层气或深盆气的解吸成藏模式;另一类是按烃类来源与油气系统的关系划分的,包括(系统)内生油气成藏模式和(系统)外生油气成藏模式,而内生油气成藏模式又分原生和次生成藏模式。

7) 李小地(1998)提出了两种凝析气藏成藏模式^[54]:①原生凝析气成藏模式——有机质直接生成凝析气,并以气相运移聚集成藏,成藏过程无相态变化;②次生凝析气成藏模式——圈闭中的轻质油溶解于天然气中形成的凝析气藏,成藏过程中发生了相态变化。其着眼点是相态变化。

8) 张宏等(1998)提出了西北侏罗系的3种成藏模式^[55],即①:下源型成藏模式;②自源型成藏模式;③混源型成藏模式。并进一步从烃源岩与储集岩的关系上将其细分为下源自储式、自生自储式、自源上储式、混源自储式和混源上储式等5个亚模式。其着眼点显然是烃源岩与油气藏关系。

9) 郑绍贵等(2000)建立了3种成藏模式^[56]:①“刘庄式”自生自储型生物气成藏模式;②“永安式”下生上储型热解气成藏模式;③“黄桥式”有机气和幔源气混合成藏模式。这些模式是通过对比江苏省18个气藏的气源、储层、封盖、圈闭的联系和成藏机制分析、综合而成的。

10) 操应长(2002)提出了火成岩的3种油气成藏模式^[57]:①同层运聚型成藏模式;②上层运聚型成藏模式;③下层运聚型成藏模式。并且指出,同层运聚型是渤海湾盆地中最常见也最好的成藏模式。这是通过对渤海湾盆地第三系火成岩(侵入岩、喷出岩和火山碎屑岩)分布及其油气成藏条件和成藏规律的综合分析得出的,其着眼点是油气运移、聚集方式。

11) 王志欣等(2006)则提出了深盆地气藏的“甜点”式孤立气藏成藏模式^[58]。该模式是在分析了鄂尔多斯盆地深盆地气藏的特征后总结出来的。研究认为,天然气是沿断裂向上运移进入砂层,然后沿着砂层“活塞”式向四周推进,在断裂附近形成“甜点”式孤立气藏的。

2.4 着眼于演化历程的成藏模式

所谓演化历程,是指油气藏在漫长的地史进程中所经受的变化、改造和破坏的性质、时序、状况和特征。这种成藏模式源自于构造作用强烈的迭合型盆地(或残留盆地、改造型盆地)。由于油气藏生成早、历史长,往往经历了多期次的改造,不仅原生盆地(或坳陷)形貌变化很大,原生油气藏也受到不同程度的改造,甚至再生。其典型实例有如下几种。

1) 寿建峰(1994)则以热演化史和构造发育史为主线^[59],结合东濮盆地桥口和白庙地区的油气分布特征、油气性质、有机质类型、流体势等,提出了该区存在2个油气成藏模式:①桥口地区的石油为聚集—破坏—聚集型的再生成藏模式;②白庙地区和桥口地区的天然气为晚期成藏模式。

2) 胡光灿等(1997)以聚集期和定位时序为依据^[60],将川东石炭系天然气藏划分为一次成藏模式和二次成藏模式。后者又进一步划分出早期聚集早期成藏模式和早期聚集晚期成藏模式。

3) 王根海等(2001)则将南方海相中、古生界油气藏划分为原生油气藏、次生油气藏和再生油气藏等3种类型^[61]。这是他们在分别研究了该区相关油气藏的形成、变化、改造、破坏过程及其保存现状之后分别提出的,其着眼点显然也是演化历程。

4) 王红军等(2001)总结出的塔里木盆地天然气成藏的3种模式^[62],即:①干酪根晚期裂解干气充注古油藏形成凝析气藏;②古油藏晚期发生内部原油向气的热裂解形成凝析气藏;③古油藏裂解形成的干气运移至新的圈闭形成干气气藏。这3种成藏模式,也是以该研究区油气藏演化历程为主线,结合相态和有机地化成果的分析而得出的。

5) 严金泉等(2001)则是从鄂西—渝东区石炭系圈闭形成与演化的角度^[63],探讨了油气运移和圈闭形成的配置关系,以及后期改造和多期运聚,提出了3种油气成藏模式:①早期聚集早期成藏型;

②早期聚集晚期成藏型;③晚期聚集晚期成藏型。

6)王庭斌(2003)针对中国大中型气田提出了4类成藏模式^[64]:①超晚期(新近纪—第四纪)生烃成藏型;②晚期(古近纪—新近纪)生烃成藏型;③早期(中生代为主)生烃聚集和晚期(古近纪—第四纪)定型成藏型;④早期(中生代为主)生烃成藏型。其着眼点完全是生烃时间和天然气藏形成过程,与前述宋岩(1996)兼顾圈闭类型的做法有明显差异。

7)窦立荣等(2004)将中国古生界海相油气藏的形成划分为5种端元模式^[65]:①一次生烃形成的原生油气藏;②早期油气藏调整后再次运移聚集形成的油气藏;③早期形成的油气藏后期深埋进一步裂解成凝析气藏干气藏;④高一过成熟干酪根裂解成凝析气或干气藏;⑤烃源岩二次生烃形成的原生油气藏。其划分依据也主要是各类油气藏的形成时序。

8)张永刚等(2007)将中国南方海相油气成藏模式划分为原生型、次生型和再生型等3种类型^[66]。其主要依据仍然是生烃期的早晚,但兼顾了油气在完成初次聚集后至最终成藏定型是否突破了原始封闭体系,同时还考虑了按不同模式生成的油气藏的时空分布。

2.5 着眼于要素组合的复合成藏模式

所谓要素组合是指上述4种成藏要素的联合。这种成藏模式,比较能全面地反映油气成藏的控制因素和机理,来自于勘探程度和研究程度较高的地方。研究者通常抓住两种或两种以上易于观察到的,或者显现得比较清晰的成藏要素,并且对这些要素赋予同等的重要性。

1)杨俊杰等(1992)提出了鄂尔多斯碳酸盐岩风化壳型油气藏的复合成藏模式^[67]。该模式的主要内容是:加里东运动、基底起伏、古水文地质条件和奥陶系风化壳控制古地貌发育,而古地貌控制奥陶系马家沟组分布和天然气的运移聚集,正负古地貌单元的有机配置,形成平缓地台区隐蔽型古地貌气藏。这是最早顾及多要素复合控制的成藏模式。

2)张义纲等(1997)提出了碳酸盐岩和碎屑岩两种复合成藏模式^[68]。前者是:沉积成岩与剥蚀—古隆起形成—成岩缝—微孔形成,油自生自储—成岩圈闭形成,油二次运移、聚集、裂解—背

斜—成岩复合圈闭形成,气二次运移、聚集最终成藏。该模式以川南阳新统、川东石炭系和川西南威远震旦系为例分为3个亚模式。后者是:早期形成超压封存箱—生油进入圈闭—生气并发育成岩缝,晚期边挤压、边致密、边断裂、边分隔改造—天然气涌出箱外进入浅部成岩—构造复合圈闭。该模式也以川西须家河组、川西侏罗系、松辽南部J—K₁和辽河西部和辽东湾为例分为4个亚模式。各个亚模式除了在起始和延续的时间上有差别外,在成藏机制上也有所不同。这两种成藏模式堪称典型的复合成藏模式,它们均以演化历程为主线并兼顾动力介质和成藏机制。

3)周江羽等(1998)也针对川西坳陷气藏提出了两种成藏模式^[69],即:①上三叠统碎屑岩型气藏成藏模式;②二叠系—中、下三叠统碳酸盐岩型气藏成藏模式。这两种成藏模式的共同点是运移通道受断层—裂缝系统控制,聚集空间是低缓隐伏的构造圈闭和裂缝系统,运移动力是地层压力和区域构造应力。差别仅在于前者主要气源和区域盖层是上覆的须三—须五煤系,后者气源是下伏碳酸盐岩,而区域盖层为雷口坡组膏盐层。该模式的提出,是对川西坳陷天然气成藏基础条件、动力介质和运聚机制等方面进行综合分析的结果。

4)钱凯等(1999)针对华北的情况提出了两种成藏模式^[70]:①持续式成烃成藏模式,包含济源型(持续沉降一期成烃型)和沁水型(燕山期抬升一期成烃型);②间断式成烃成藏模式,包含鹿邑型(中隆新坳多期成烃型)、东营型(中坳新坳多期成烃型)、廊固型(后期沉降多期成烃型)和黄口型(中坳新隆多期成烃型)。该模式的建立是从华北古生界煤层气及煤成气藏空间分布特征分析入手的,综合考虑了生、储、盖、圈闭、埋藏史等基础条件,以及油气藏演化历程等要素。

5)谢泽华(2000)则以川西坳陷为例提出“分散气储,超压运移,储集体成藏,多级补给”模式^[71],并指出这是天然气成藏的普遍模式。谢泽华认为天然气藏没有固定的生、储、盖组合,因此只考虑运移方式和储集体——主要运移方式是垂向运移,最佳储集体是扭张性裂隙系统。

6)庞雄奇等(2000)将油气藏成因模式分为II类8种17式^[72]。I类,突发式流压作用形成的油气藏,包括①高压势场作用下形成的油气藏,②低压势场作用下形成的油气藏,③油水携带溶解

气游离释放形成的天然气藏; II类, 缓慢式烃势差形成的油气藏, 包括④浮力作用下形成的油气藏, ⑤毛细管力作用下形成的油气藏, ⑥天然气体积膨胀形成的深盆气藏; III类, 非常规条件下天然气汇聚形成的特殊类型的(油)气藏, 包括⑦分子吸附作用形成的煤层瓦斯气藏, ⑧分子水合作用形成的水合甲烷气藏。每一种模式又可细分为若干亚模式。显然, 该模式的建立是以油气运聚的动力和作用方式两种要素组合控制为主要依据的。

7) 付广等(2001)针对我国断陷盆地油气藏提出了4种主要成藏模式^[73]: ①油气沿不整合面短距离侧向运移的基岩风化壳圈闭成藏; ②油气沿不整合面或砂体与断层组合长距离运移的古隆起之上各种类型圈闭成藏; ③油气沿砂体侧向运移的地层超覆或断层遮挡或砂岩上倾尖灭或断块圈闭成藏; ④源岩区内油气短距离运移泥岩裂缝或砂岩透镜体圈闭成藏。这类成藏模式的提出, 是着眼于基础条件、动力介质和形成机制等几个要素的复合控制。

8) 林忠民(2002)提出了一种岩溶—缝洞型油气藏的成藏模式^[74], 即: 构造圈闭为加里东中晚期形成、经海西运动改造并定型的阿克库勒古隆起; 储层为开阔—局限海台地相的碳酸盐岩, 储集空间为受构造和岩溶作用控制的具强烈非均质性的断裂—缝洞网络带; 油气藏主要分布于隆起区的中部台地及南部斜坡地带, 距风化壳不整合面200 m的范围内; 主控因素是有利的区域构造位置、丰富的油源、良好的岩溶—缝洞型储层发育带, 以及储盖配置、区域不整合面、断裂和输导层的广泛发育。这是对塔河油田的油气成藏条件及控制因素全面考察的结果。

9) 徐思煌等(2007)对中国南方油气藏特征做了概括^[75], 提出了“分级多因素”的成藏模式划分原则, 即第一级因素: 成藏流体(油、气)来源, 包括原生烃源、二次生烃源、次生烃源、水溶气源和无机气源; 第二级因素: 成藏期次, 大体分为原生成藏、次生成藏两大类型; 第三级因素: 油气输导与遮挡、圈闭类型、要素及封闭机制、储盖条件、地层流体压力等控制因素。由此而建立了12种和10种成藏模式。这可能是目前较为全面的成藏模式划分体系。

10) 闫相宾等(2004)提出了一种不整合—岩溶缝洞型的大型隐蔽油气藏成藏模式^[76]: 不同成

因不同类型的孔洞缝储集体叠置联片, 多期成烃、晚期充注调整, 由断裂、不整合沟通形成次生油藏, 其上叠加石炭系、三叠系低幅度背斜圈闭、岩性圈闭及复合圈闭, 纵向上构成“复式”成藏组合。该模式是基于对塔里木盆地塔河油田的综合研究结果得出的。

11) 陈冬霞等(2005)提出了一种针对砂岩透镜体油气藏的成藏模式^[77]: 以生烃膨胀力、烃浓度差扩散力和毛管压力差为成藏主动力, 以油气水混相涌流为主要运移方式, 以孔隙、微裂隙和微层理面为运移通道, 而以晚成岩早期为成藏期、以晚成岩晚期为标志进入保存阶段。该模式从油气初次运移机理入手, 综合考虑了基础条件、控制因素、形成机制和演化历程等要素。

12) 马永生等(2005)将川东北普光气田的气藏成藏模式纳为“复合圈闭—原油聚集—流体调整—晚期定位”^[78]; 蔡立国等(2005)也同时提出了“多期成藏, 油气转化, 晚期定位”模式^[79]。这两个成藏模式虽有差别, 却都是着眼于动力介质、形成机制和演化历程的。

13) 卓勤功等(2007)提出了一个岩性油气藏成藏模式——“压应双控、复合输导及幕式置换”^[80]。该模式建立在对济阳坳陷油气藏的动力介质和形成机制分析的基础上。卓勤功等认为, 油气运移动力是烃源岩内部的孔隙流体压力, 成藏主控因素是烃源岩、输导体系和成藏动力。

14) 宋国奇等(2008)将第三系不整合体划分为3种结构类型^[81], 并将第三系不整合油气成藏的主控因素概括为古地貌、输导体系和遮挡层, 然后根据圈闭发育的构造位置、储层产状和油气运移的方向, 建立了斜坡正向运聚和凸起侧向运聚两种不整合油气藏运聚成藏模式。

15) 汤济广等(2008)通过对库车、四川盆地西缘和柴达木盆地北缘等前陆冲断带的中、新生代区域构造叠加、变异特征及演化历程分析^[82], 提出了中国中西部前陆冲断带的3种成藏模式, 即叠加型冲断带的多期成藏以晚期为主模式、改造型冲断带的早期成藏和晚期调整模式、原型冲断带的晚期原生聚集及改造次生成藏模式。

16) 张文朝等(2008)提出了断陷盆地的“相—势—导”三元成藏模式^[83]。该模式显然也是着眼于多要素复合控制的, 其依据是冀中坳陷古近纪和二连盆地早白垩世断陷盆地的沉积演化、沉积

相类型、成岩演化、储层特征、构造特征以及油气藏的成藏机理、油气藏地质分布规律的分析结果。张文朝等认为, 在断陷盆地的演化过程中, “沉积演化—沉积相—储集相”、“构造带—温压场—油气势”与“输导体系”三要素由动态变化逐渐调整到静态平衡, 从而在特定的地质条件下和三维空间中构成了 6 类相对独立的“复式输导系统”, 形成了各具特色的复式油气藏或复式油气聚集带。

3 结论与讨论

资料分析和统计数据表明, 油气成藏模式概念在我国的研究和应用是从 2000 年开始进入高潮期的, 目前仍处于方兴未艾的状态。迄今为止, 所建立的成藏模式已经涵盖了我国各时代的盆地和油气藏。以上列举的各种成藏模式无疑都具有一定的代表性, 都是很有价值的。但是也应看到, 另有一些研究者所使用的建模依据以及所提出的模式体系前后不协调, 导致出现在一个成藏模式中夹杂两个以上的分类体系, 甚至对同一个油藏先后或同时提出两个不同的成藏模式。对于变换角度看问题而言, 这样做是必要的, 但应当揭示其中的联系; 而对于目标预测和资源评价而言, 这种结果显然不易为别人所接受和利用。因此, 建立规范而合理的要素体系, 是顺利进行成藏模式构建并达成共识的基础。上述一些成功的实例表明, 以基础条件、动力介质、形成机制、演化历程及其组合作为要素体系是可行的。在实际工作中, 可根据资料的详度, 以 4 种要素中的一种或多种为主线, 兼顾其他要素, 来分别建立盆地级、坳陷级、凹陷级或圈闭级成藏模式。

前述实例中各类成藏模式的建造方法和适用范围, 与研究对象(油区、盆地、坳陷或凹陷)的勘探程度和研究程度大致对应。在勘探程度和研究程度较低的地方, 由于源岩、介质、动力和成藏机理都不清楚, 人们在建模时主要侧重于宏观的基础条件, 其用途是指导进行有利区块预测; 在勘探程度和研究程度较高的地方, 由于各种源岩、介质、动力和成藏机理基本查清, 人们在建模时主要侧重于微观的动力介质和形成机制等要素, 其用途是指导进行有利区带预测; 而在勘探程度和研究程度都很高的地方, 由于各种基础条件、动力介质、形成机制和演化历程已经基本查清, 人们在建

模时可以对上述 4 种要素的复合控制作用进行全面分析, 从而建立严格意义上的、完整的油气成藏模式, 用于揭示油气成藏规律并指导有利区带和有力圈闭预测。显然, 成藏模式的建立应当采取实事求是的态度, 要与相应的勘探、研究程度相匹配, 不要勉强地建立超越勘探程度的成藏模式, 否则, 即便建立了也是臆测多于实证, 可信度低且难以指导勘探和研究实践。当然, 在条件成熟的勘探区, 则应当尽可能地建立多要素复合控制的成藏模式。以成熟勘探区为基础的“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布研究”(庞雄奇, 2008)^[84], 便是这样的尝试。

基于以上的分析, 文中把油气成藏模式定义为: 油气成藏模式是一组类似的控制油气藏形成的基础条件、动力介质、形成机制、演化历程等要素单一模型或者多要素复合模型的概括。

油气成藏模式的研究和应用除了为油气藏的定位和定量预测提供新的知识基础, 适用于不同级别和不同精度的油气资源预测、评价外, 还丰富和完善了油气成藏动力学和石油天然气地质学。与油气成藏模式概念在我国得到广泛响应的同时, 国外则更多地关注油气系统(Magoon, 1991; Permodon, 1992)的概念^[85-86]。虽然油气系统的概念在我国也曾引起了广泛的重视, 但始终没有取代对成藏模式的研究。我国是一个具有系统论研究传统的国度, 出现这种情况可能是我国含油气盆地的油气成藏及保存条件极端复杂, 存在严重的结构信息不全、关系信息不全、参数信息不全、演化信息不全状况, 而目前的研究程度和认识水平还难以从系统论的角度进行概括和总结。预计油气成藏模式研究的未来发展, 将会与油气系统研究密切结合起来, 构成完善的“实与形”关系, 而采用定量模拟方式(吴冲龙等, 2001; 石广仁, 2009; 郭小文等, 2009)^[87-89], 也是一个重要的方向。

参 考 文 献

- 1 Gussow W G Differential entrapment of oil and gas: a fundamental principle J. AAPG Bulletin 1954 38(5): 816—853
- 2 Dickey P A Possible primary migration of oil from source rock in oil phase J. AAPG Bulletin 1975 59(2): 337—345
- 3 Magara K Primary migration of oil and gas A J. In Merrill A D eds Facts and principles of world petroleum occurrence C. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 1980 (6): 173—191

- 4 Price L C Aqueous solubility of Petroleum as applied to its origin and Primary migration J. AARG Bulletin 1976 60(2): 213—244
- 5 Bakker C Primary migration: the importance of water—mineral—organic matter interactions in the source rock Aj. In Roberts W H III, Cordell R J eds Problems of Petroleum Migration C]. AARG Studies in Geology 1980 64(10): 19—31
- 6 McAuliffe C D Oil and gas migration: chemical and physical constraints J. AARG Bulletin 1979 63(5): 761—781
- 7 Neglia S Migration of fluids in sedimentary basins J. AARG Bulletin 1979 63(4): 537—597
- 8 Hedberg H D Methane generation and Petroleum migration Aj. In Roberts W H III, Cordell R J eds Problems of Petroleum Migration C]. AARG Studies in Geology 1980 64(10): 179—260
- 9 Price L C Utilization and documentation of vertical migration in deep basins J. Journal of Petroleum Geology 1980 3(2): 353—387
- 10 Bonham L C Migration of hydrocarbons in compacting basins [Aj. In Roberts W H III, Cordell R J eds Problems of Petroleum Migration C]. AARG Studies in Geology 1980 64(10): 69—88
- 11 Bary E E, Foster W R A process for primary migration of petroleum J. AARG Bulletin 1980 64(1): 107—114
- 12 Leythaeuser D, Schaefer R G, Yukler A Role of diffusion in primary migration of hydrocarbons J. AARG Bulletin 1982 66(3): 408—429
- 13 Aschenbrenner B C, Achauer C W Minimum conditions for migration of oil in waterwet carbonate rocks J. AARG Bulletin 1960 44(2): 235—243
- 14 Tissot B, Espitalie J L Evolution thermique de la matière organique des sédiments: applications d'une simulation mathématique J. Revue de l'Institut Français du Pétrole 1975 (30): 743—777
- 15 Berg R R Capillary pressure in stratigraphic traps J. AARG Bulletin 1975 59: 939—956
- 16 England W A, Mackenzie A S, Mann D M et al The movement and entrapment of Petroleum fluids in the subsurface J. Journal of the Geological Society 1987 144(2): 327—347
- 17 Dewers T, Ortoleva P The role of geochemical self-organization in thermigration and trapping of hydrocarbons J. Applied Geochemistry 1988 3(2): 287—316
- 18 Allan U S Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures J. AARG Bulletin 1989 73(5): 803—811
- 19 Hunt J M Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments J. AARG Bulletin 1990 74(1): 1—12
- 20 Cordell R J How oil migration in clastic sediments J. World oil 1977 184(1): 97—100
- 21 Roberts W H III, Cordell R J Problems of Petroleum migration [J. AARG Studies in Geology 1980 64(10): 273
- 22 Chapman R E Effects of oil and gas accumulation on water movement J. AARG Bulletin 1982 66(3): 368—372
- 23 Powley D Pressures and hydrogeology in petroleum basins J. Earth-Sciences Reviews 1990 29(3): 215—226
- 24 Tjsten V, Al-Shajeb Z Pressure seals: their diagenetic banding patterns J. Earth-Science Reviews 1990 29(3): 227—240
- 25 Gambhir S C Pattern of accumulation and composition of oils in meh-sana area of Cambay Basin, India J. AARG Bulletin 1976 60(9): 1 550—1 562
- 26 Welte D H, Yukler M A Petroleum origin and accumulation in basin evolution: a quantitative model J. AARG Bulletin 1981 65(8): 1 387—1 396
- 27 Meissner F F Regional hydrocarbon generation, migration and accumulation: Pattern of Cretaceous strata, Powder River Basin J. AARG Bulletin 1985 69(5): 856
- 28 李一平. 四川盆地碳酸盐岩气藏的成藏模式 [Aj. 见: 戴金星. 天然气地质研究论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1989 8~16
- 29 张仲武, 李一平, 张声瑜. 四川盆地气藏类型及成藏模式 [J. 天然气工业, 1990 10(6): 8~14
- 30 杨克明. 塔里木中生代盆地类型、叠置形式及发展演化 [J. 新疆石油地质, 1991 12(3): 181~189
- 31 王昌桂, 郭彦如, 张朝富, 等. 吐鲁番坳陷天然气地质特征及成藏模式 [J. 新疆石油地质, 1993 14(2): 117~125
- 32 宋岩, 戴金星, 戴春森, 等. 我国大中型气田主要成藏模式及其分布规律 [J. 中国科学 (D辑), 1996 26(6): 499~503
- 33 陈波, 何贞铭, 李晓光, 等. 辽河盆地中央凸起带油气聚集规律 [J. 勘探家, 1998 3(4): 32~36
- 34 付广, 付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用 [J. 世界地质, 2001 20(4): 344~349
- 35 彭君, 王秀林, 武晓玲, 等. 东濮凹陷中央隆起带南部油气成藏模式 [J. 大庆石油地质与开发, 2003 22(5): 8~10
- 36 阿布力米提, 吴晓智, 李臣, 等. 淮南前陆冲断带中段油气分布规律及成藏模式 [J. 新疆石油地质, 2004 25(5): 489~491
- 37 肖伟, 刘震, 杜金虎, 等. 隐蔽圈闭成藏条件组合模式研究 [J. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2006 21(5): 13~19
- 38 梁宏斌. 二连盆地隐蔽油气藏成藏模式及预测研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006 25~29
- 39 祝厚勤, 庞雄奇, 林世国, 等. 东营凹陷岩性油藏主控因素及成藏模式 [J. 沉积与提提斯地质, 2006 26(1): 74~80
- 40 张以明, 王余泉, 刘井旺, 等. 冀中坳陷复杂断块油藏成藏模式研究 [J. 中国石油勘探, 2006 (2): 15~18
- 41 彭文绪, 孙和风, 张如才, 等. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式 [J. 石油与天然气地质, 2009 30(4): 510~518
- 42 陈绥祖, 曾恕蓉. 封存箱与上三叠统天然气成藏模式 [J. 天然气工业, 1994 14(5): 24~28
- 43 姜子昂, 熊鹰, 段玲. 川南地区隐伏裂缝系统成藏模式及勘探前景 [J. 成都理工学院学报增刊, 1996 23(增刊): 80~87
- 44 王红军, 黄晓明. 塔中地区地层压力结构与油气的分布 [J. 石油实验地质, 1999 21(3): 242~245
- 45 刘震, 贺维英, 韩军, 等. 准噶尔盆地东部地温—地压系统与油气运聚成藏的关系 [J. 石油大学学报 (自然科学版), 2000 24(4): 15~20
- 46 宋岩, 夏新宇, 洪峰, 等. 前陆盆地异常压力特征与天然气成藏

模式[J]. 科学通报, 2002 47(增刊): 70~76

47 周兴熙. 封存箱与油气成藏作用[J]. 地学前缘, 2004 11(4): 609~615

48 王允诚, 朱永铭. 川西坳陷上三叠统须家河组的天然气成藏模式和盖层封闭机理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 1991 18(4): 92~105

49 李明诚. 川西凹陷侏罗系致密红层天然气富集机制探讨[J]. 天然气工业, 1992 12(3): 7~13

50 邱蕴玉, 徐濂, 黄华梁. 威远气田成藏模式初探[J]. 天然气工业, 1994 14(1): 9~13

51 郝石生, 高耀斌, 黄志龙. 鄂尔多斯盆地中部大气田聚集条件及运聚平衡[J]. 中国科学(D辑), 1996 26(6): 488~492

52 孙宝珊. 铲(犁)式断裂控油模式概析[J]. 地质力学学报, 1996 2(4): 68~71

53 马力, 钱奕中, 王根海, 等. 中国南方海相油气勘探研究新进展[J]. 海相油气地质, 1997 (2): 1~14

54 李小地. 凝析气藏的成因类型与成藏模式[J]. 地质论评, 1998 44(2): 200~205

55 张宏, 方杰. 中国西北侏罗系油气藏模式及控制因素初探[J]. 西安石油学院学报, 1998 13(4): 25~27

56 郑绍贵, 郭念发, 王宏祥. 江苏天然气藏及成藏模式[J]. 天然气工业, 2000 20(2): 8~11

57 操应长, 姜在兴, 邱隆伟, 等. 渤海湾盆地第三系火成岩油气藏成藏条件探讨[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002 26(2): 6~10

58 王志欣, 张金川. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地成藏模式[J]. 天然气工业, 2006 26(2): 52~54

59 寿建峰. 桥口、白庙地区油气分布与成藏模式[J]. 天然气工业, 1994 14(1): 14~17

60 胡光灿, 谢姚祥. 中国四川盆地东部高陡构造石炭系气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 63~130

61 王根海, 赵宗举, 李大成, 等. 中国南方海相油气地质及勘探前景[A]. 见: 高瑞琪, 赵政璋. 中国油气新区勘探[C](第五卷). 北京: 石油工业出版社, 2001 1~321

62 王红军, 周兴熙. 塔里木盆地典型海相成因天然气藏成藏模式[J]. 石油学报, 2001 22(1): 14~18

63 严金泉, 孙卫. 鄂西一渝东区石炭系油气成藏模式及富集规律[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2001 31(5): 415~417

64 王庭斌. 天然气与石油成藏条件差异及中国气田成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2003 14(2): 79~85

65 窦立荣, 王红军, 祁连爽, 等. 中国古生界海相油气成藏模式划分及其意义[J]. 江汉石油学院学报, 2004 26(2): 41~43

66 张永刚, 马宗晋, 王国力, 等. 中国南方海相油气成藏模式分析[J]. 地质学报, 2007 81(2): 236~243

67 杨俊杰, 谢庆邦, 宋国初. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳地貌成藏模式及气藏序列[J]. 天然气工业, 1992 12(4): 8~13

68 张义纲, 陈彦华, 陆嘉炎. 油气运移及其聚集成藏模式[M]. 南京: 河海大学出版社, 1997

69 周江羽, 吴冲龙, 韩志军, 等. 川西坳陷天然气成藏条件及成藏模式[J]. 四川地质学报, 1998 18(2): 116~120

70 钱凯, 吴世祥, 姜正龙, 等. 华北煤成气成藏条件与勘探目标预测[J]. 天然气地球科学, 1999 10(3~4): 35~42

71 谢泽华. 天然气成藏模式与勘探方法——以川西天然气藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2000 21(2): 144~147

72 庞雄奇, 金之钧, 左胜杰. 油气藏动力学成因模式与分类[J]. 地学前缘, 2000 7(4): 507~514

73 付广, 杨勉. 断陷盆地油气成藏模式及分布特征[J]. 石油实验地质, 2001 23(4): 408~411

74 林忠民. 塔里木盆地塔河油田奥陶系大型油气藏形成条件[J]. 地质论评, 2002 48(4): 372~376

75 徐思煌, 马永生, 梅廉夫, 等. 中国南方典型气(油)藏控藏模式探讨[J]. 石油实验地质, 2007 29(1): 19~24

76 闫相宾, 张涛. 塔河油田碳酸盐岩大型隐蔽油藏成藏机理探讨[J]. 地质论评, 2004 50(4): 370~375

77 陈冬霞, 庞雄奇, 邱楠生, 等. 东营凹陷隐蔽油气藏的成藏模式[J]. 天然气工业, 2005 25(12): 12~15

78 马永生, 傅强, 郭彤楼, 等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质, 2005 27(5): 455~460

79 蔡立国, 饶丹, 潘文蕾, 等. 川东北地区普光气田成藏模式研究[J]. 石油实验地质, 2005 27(5): 462~467

80 卓勤功, 向立宏, 银燕, 等. 断陷盆地洼陷岩性油气藏成藏动力学模式[J]. 油气地质与采集率, 2007 14(1): 7~10

81 宋国奇, 卓勤功, 孙莉. 济阳坳陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(6): 716~732

82 汤济广, 李祺. 中国中西部前陆冲断带构造变形与油气成藏模式[J]. 油气地质与采收率, 2008 15(3): 1~5

83 张文朝, 降栓奇, 陈彦君, 等. 断陷盆地“相—势—导”成藏模式与油气成藏[J]. 石油学报, 2008 29(5): 680~687

84 庞雄奇. 中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(2): 157~158

85 Magoon L B, Dow W G. The Petroleum system: from source to trap[J]. AAPG Association Round Table, 1991: 587

86 Peredon A. Petroleum system models and applications[J]. Journal of Petroleum Geology, 1992 15(3): 319~326

87 吴冲龙, 毛小平, 王燮塔, 等. 三维油气成藏动力学建模与软件开发[J]. 石油实验地质, 2001 23(3): 301~311

88 石广仁. 油气运聚定量模拟技术现状、问题及设想[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(1): 1~10

89 郭小文, 何生. 伊通盆地天然气成因类型与成藏[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(3): 260~267

(编辑 张亚雄)